

УДК 66.045.004.14:62-72

Л. Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, д-р. техн. наук, проф., ректор, НТУ «ХПИ»,
г. Харьков

В. В. БЕРЕЗУЦКИЙ, канд. техн. наук, доцент, НТУ «ХПИ», г. Харьков

РАЗРАБОТКА РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ И АППАРАТОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ПРИМЕНЕНИЕ ВОДНЫХ СРЕД НА ПРОИЗВОДСТВЕ

Розглядаються питання теоретичного узагальнення наукових досліджень і практичних результатів ресурс зберігаючих технологій в умовах сучасного виробництва, теорія фракційного коагулювання домішок в апаратах електрокоагуляційного очищення.

The questions of theoretical generalization of scientific researches and practical results of resource of saving technologies are examined in the conditions of modern production, theory of fractionating coagulation of admixtures in the vehicles of the electro-coagulative cleaning.

Цель – выбрать процессы регулирования показателей промышленных сред и разработать их классификацию, обосновать теоретическое и выполнить практическое решение проблемы ресурсосбережения при применении водных технологических сред на основе теории фракционированного коагулирования примесей в аппаратах электрокоагуляционной очистки

1. Требования к техническим устройствам обеспечивающих принципы ресурсосбережения применения водных технологических сред (ВТС) на производстве

На основе известных классификаций, нами предлагаются процессы и аппараты корригирования значимых показателей ресурсосбережения при применении ВТС на производстве (рис.1).

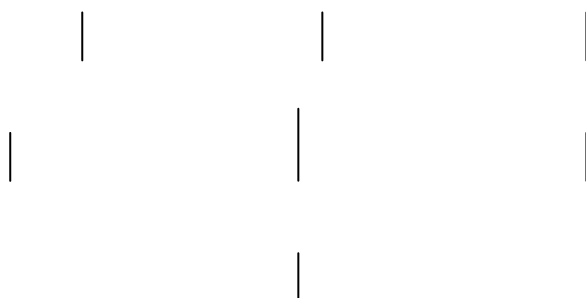


Рис. 1 Процессы и аппараты корригирования значимых показателей ресурсосбережения при применении ВТС на производстве

Представленные на схеме технологии, применяются на производствах, однако, требуют совершенствования, а, в некоторых случаях, и разработки принципиально новых [1]. Разработке и совершенствованию их будет уделено внимание далее в статье.

2. Классификация основных процессов регулирования показателей качества ВТС обеспечивающих ресурсосбережение на предприятии [2].

1. Гидромеханические процессы:

- Перемешивание потоков жидкостей (эмульсий и растворов) с помощью центробежных насосов, газа и мешалками;
- Разделение жидких сред в поле сил тяжести (отстаивание).

2. Массообменные процессы определяются процессами:

- нейтрализации и корректировки показателя pH водных сред;
- коагуляции примесей в средах гидрооксидами металлов, при выполнении процессов электрокоагуляционной очистки.

3. Химические процессы характеризуются применением реагентов для корректировки показателей pH сред, в процессах извлечения масел и ингибирования газом процесса развития бактерий. Процессы коагулирования и биохимические.

4. Биохимические процессы характеризуются активностью бактерий в водных эмульсиях и применением технологий микробиологической деструкции СОЖ.

5. При проведении технологий применяется обогрев технологических емкостей, в емкостях с микробиологическим разрушением эмульсий, и создание избыточного давления газа при ингибировании роста бактерий.

6. По способу организации химической технологии все аппараты и технологические системы подразделяются на периодические (устройства ингибирования роста бактерий, микробиологической деструкции, устройства корректировки показателя pH жидкостей) и непрерывные (электрокоагуляторы, полочные отстойники и отстойные камеры, емкости технологических линий).

7. Все устройства выполнены как стационарные и локальные, кроме передвижной установки по корригированию качества эмульсий отдельно расположенных станков и агрегатов.

3. Процесс регулирования концентрации механических примесей в водных технологических средах

Механические примеси в водных средах характеризуются их концентрацией и физико-химическими свойствами [1].

Процеживание выполняется повсеместно, для чего используются решетки, сетки и т.п. приспособления. Основное назначение – удаление грубодисперсных примесей. Основным критериальным показателем выбора вида приспособления для процеживания, это размеры частиц, которые могут, попасть и попадают в технологическую жидкость в процессе обработки металлических заготовок, а также внесенные случайно. В технологических процессах резания, широко используют стальные сетки с размером ячеек до 10^{-2} - 10^{-3} м и меньше, что позволяет улавливать стружку и различные металлические сколы.

Процесс отстаивания должен выполняться в отстойниках, функции которых на производстве выполняют, как правило, технические емкости. Назначение емкостей это: хранение растворов до их подачи в технологическую линию, приготовление новых растворов и хранение отработанных (загрязненных) растворов до их утилизации или регенерации. Тем не менее, в условиях отсутствия или ограниченности средств для приобретения специального оборудования, эти емкости выполняют роль отстойников, осветлителей, жиро- и нефтеловушек, биореакторов и т.п.

Раствор в емкости находится в равновесии под действием сил тяжести, определяемых собственным весом жидкости и давлением окружающей среды. На свободной поверхности раствора давление P_0 , а на остальной части – реакция стенок емкости [2,3]. Для элементарного объема раствора, расположенного примерно в середине емкости, можно записать основное уравнение гидростатики, при $X=0, Y=0, Z=g$:

$$P = P_0 + \gamma h \quad (1)$$

где h – глубина погружения рассматриваемого элементарного объема, γ – удельный вес жидкости.

В рассматриваемом случае давление жидкости на прямоугольную, плоскую поверхность. Силы давления для разных уровней определяются по следующему выражению:

$$P = \frac{\gamma(h_n^2 - h_{n-1}^2)}{2 \sin \alpha} b \quad (2)$$

где h_1, h_2, \dots, h_n – глубины заложения точек на поверхности стенки, через которые проходят нормали к стенке, делящие эпюру давления на равновеликие площадки; b – ширина стенки; α – угол наклона стенки.

Исходя из формулы (2), на элементарный объем жидкости, содержащий примеси, в нижней части емкости будет испытывать максимально возможное для определенной емкости давление плюс собственный вес элементарной оседающей частички. Всплывшие на поверхность частички, будут испытывать давление P_0 . Естественно, что и в первом и во втором случае, на частицы будут оказывать воздействие силы вязкости среды и наличие других примесей. Однако, необходимо учитывать особенности осаждаемых частиц, которые образуются при применении сред типа СОЖ. В этом случае частицы, которые в обычной воде должны были бы осесть, могут очень долго находиться во взвешенном состоянии, а процесс осаждения происходит с большим отрезком времени [4-6]. При этом, оседающие масляные частицы прилипают к поверхности стенок емкости, и таким образом создают условия для накопления их на стенках емкостей и других металлических частях.

Тем не менее, эти металлосодержащие частицы, очень хорошо улавливаются магнитами, как постоянными, так и электромагнитами, что позволяет затем их эффективно отделять от раствора. Высокая стоимость постоянных магнитов, не позволяет предприятиям широко их использовать, хотя опыт показывает, что, на-

пример, эффективность работы постоянных магнитов, при их сравнительно практически незначительном обслуживании составляет до 20 и более лет.

Объемы мелкодисперсных примесей, поступающих с потоками эмульсии, на некоторых предприятиях составляют до 10 т за неделю (около $0,5 \text{ кг/м}^3$ за 1 час). Это характерно для производств с выполнением операций шлифования поверхности металлических изделий [1]. Интенсивность перехода примесей в эмульсию разная и зависит от интенсивности технологических операций и режима работы. Принимая во внимание ламинарный характер движения потока в емкости отстойнике ($Re \approx 2$), используя закон Стокса можно определить размер частиц по выражению [2,3]:

$$D_{\max} = \sqrt[3]{36\mu/cg(c_t - c)} \quad (3)$$

где μ - вязкость эмульсии – $1061 \text{ кг/м}\cdot\text{с}$;

c – плотность среды, $0,9999 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$;

c_t – плотность частиц, $\cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$: медь - 8,89; сталь 7,7; песок – 2,4; корунд – 2,8; магний - 1,74; алюминий – 2,7; мусор – 1,3.

g - ускорение силы тяжести, $9,81 \text{ м/с}^2$.

А скорость осаждения ω_{oc} определим по следующему выражению:

$$\omega_{oc} = d^2 g (c_t - c) / 18\mu \quad (4)$$

Результаты расчетов приведены на рис.2 – 3.

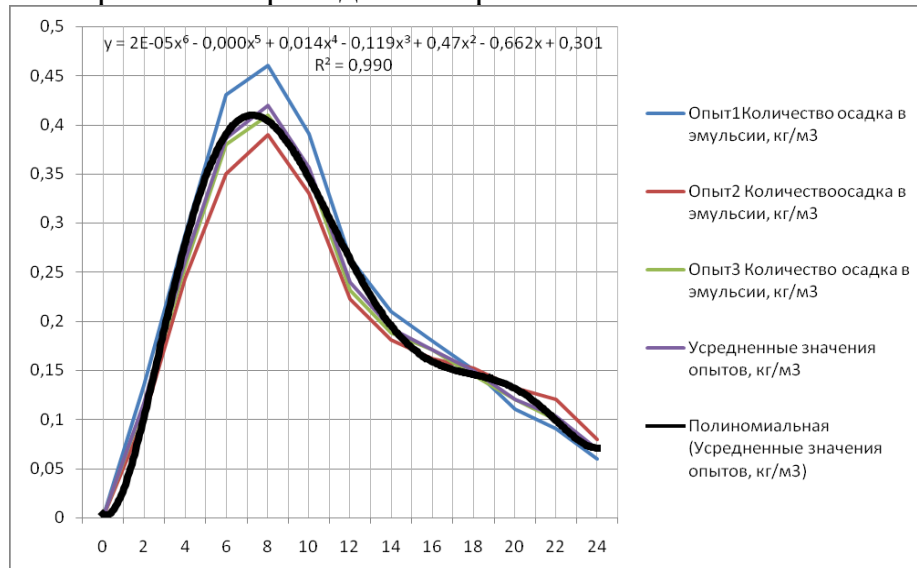


Рис.2. Результаты эксперимента по осаждению механических примесей в промышленных условиях.

Обработка результатов позволила определить кинетическую зависимость изменения скорости осаждения механических примесей, которая показана на рис.3.

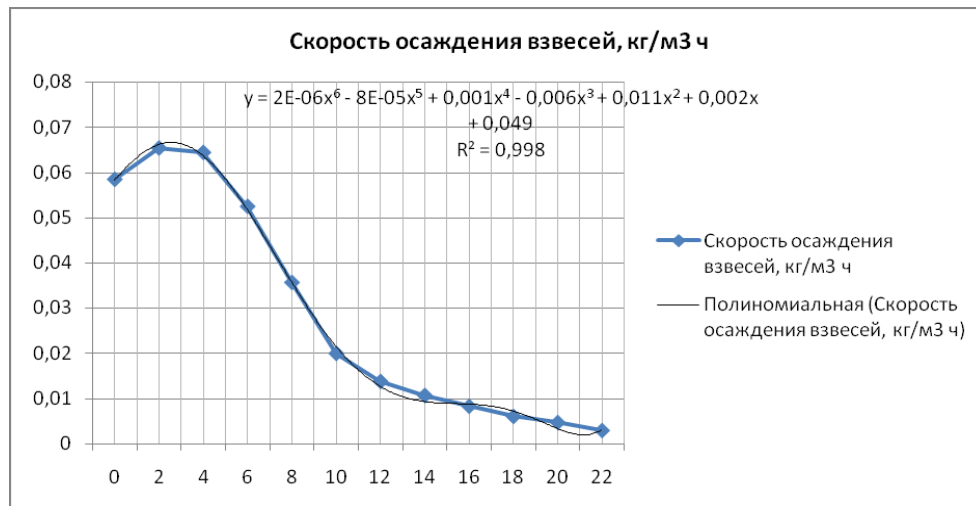


Рис. 3. Скорость осаждения примесей в промышленной эмульсии

По известной скорости потока и зная расход жидкости, можно определить геометрические размеры отстойника. Приняв расход $q_{\max} = 2 \text{ м}^3/\text{ч}$, $h_n=0,1$ можно определить ширину блока D_6 из выражения:

$$D_6 = \frac{q_{\max}}{20V_o h_n} \quad (5)$$

Приведем к одной размерности величины и подставив исходные данные в выражение (5), получим значение D_6 равное 4,4 м.

Число пластин в блоке принимаем равными 20, исходя из необходимости уменьшения ширины блока, и необходимости размещения его в емкости с определенными размерами. При таком количестве полок, длина блока L_6 будет равна:

$$L_6 = 20h_n + L_y \quad (6)$$

при условии, что угол β равен 45° , $L_y = H_6$.

Исходя из этого L_6 равна 6,4 м. Для удобства монтажа и дальнейшего обслуживания, выполняется два блока шириной $D_6=2,2$ м.

Поток жидкости поступает в камеру, образованную стенками емкости и полкой блока, размещенного в емкости. Поток опускается в нижнюю часть камеры и далее снизу поступает в блок с размещенными в нем полочными пластинами. Из этой зоны, жидкость поступает, через верхнюю часть переливом, в следующую зону. Откуда далее удаляется. Осадок, оседающий на полках, опускается в нижнюю часть по мере его накопления или смывается при очистке, в нижнюю зону расположенную над днищем емкости. Блок с полками размещается на подставках, выполненных в нижней части емкости. Сверху на блоке, выполнены крепления, для удобства его подъема и перемещения.

3. Теория фракционирования коагулирования примесей в водных технологических средах

Регулирование количества мелкодисперсных примесей растворенных в водных эмульсиях и растворах, эффективно выполняется с помощью электрохимических аппаратов. К таким аппаратам относятся электролизеры, электрокоагуляторы, электрофлотокоагуляторы и т.п. конструкции. Особенностью очистки в электрокоагуляторах является необходимость решения следующих проблем: предот-

вращения покрытия поверхности электродных пластин маслом; пассивация поверхности электродов; наличие в жидкостях ПАВ, повышающих устойчивость систем "вода - масло" и требующих повышения энергетических затрат; наличие высоких концентраций примесей, в том числе и микроорганизмов [1,4,5].

Теория фракционированного коагулирования примесей в водных технологических средах основана на результатах исследований выполненных самостоятельно, обобщении научных результатов опубликованных в научной литературе и научных прогнозов развития научной мысли в ближайшем будущем.

Основным фактором процесса коагулирования примесей, определяющим его эффективность, является их остаточное минимальное количество. Эффективность процесса коагулирования частиц примесей и коагулянта, прежде всего зависит от вероятности их контакта (столкновения), прилипания (захвата) и дальнейшего эффективного удаления из водной среды. Самым важным в этой цепочке, является первый этап, т.е. контакт частиц. Следовательно, стоит задача - разработать условия проведения процесса коагулирования в проточном аппарате. Условия процесса коагулирования должны обеспечить высокую вероятность контакта частиц. Вероятность будет определяться: концентрацией коагулянта в среде; режимов движения потока, который должен хорошо перемешиваться. С точки зрения ресурсосбережения, необходимо, чтобы количество коагулянта было оптимальным для процесса, а не превышало его в несколько раз. Далее, оно должно быть равномерно распределено по всему объему камеры коагулирования. Сложность этих процессов для проточных коагуляторов характеризуется необходимостью сочетания ламинарного спокойного течения потока жидкости, что определяется условиями процесса коагулирования, и необходимостью турбулентного сильного перемешивания, для того чтобы распределить частицы, коагулирующие и обеспечить их контакт для коагулирования.

Фракции примесей в водных технологических средах, имеют разный удельный вес и свойства. Наиболее легкие, но связанные ПАВ, это масла и нефтепродукты. К этой категории относятся также, легкие взвеси, которые сорбированы маслами или находятся во взвешенном состоянии. Более сложный процесс извлечения ионных примесей, для которых процесс коагулирования протекает в несколько этапов и с одного раза получить их эффективное извлечение не удастся.

Теория фракционированного коагулирования основана на научно обоснованном сочетании последовательно протекающих процессов, в перемещающемся потоке очищаемой водной среды, которые предусматривают активное перемешивание с последующим ламинарным течением потока, который переходит через сжимающее отверстие в следующую камеру, где все повторяется снова. И так многократно. При этом, сначала из потока извлекаются фракции масла, нефтепродуктов и легких взвесей, далее поток перемещается в другую часть аппарата и из него извлекаются фракции примесей ионного типа, т.к. они попадают в межэлектродное поле и кроме коагулирования вступают в действие процессы электролиза и окисления на поверхности электродных пластин.

Конструктивно это достигается только благодаря наличию поток-направляющих утопленных плоских перегородок с отверстиями в горизонтально расположенной камере коагулирования (реакторная камера). Далее, после того как будут

убраны из очищаемой среды масла и нефтепродукты, которые мешают работе электродных пластин в электрокоагуляторе, поток поступает в следующую камеру, в которой выполняет функцию электролита и продолжает далее очищаться от примесей ионного вида.

Таким образом, фракционированное коагулирование это высоко эффективный процесс последовательного извлечения примесей из водных сред по фракциям, что обеспечивают гидродинамические особенности потоков, которые задаются конструктивными особенностями аппарата. Эта теория позволяет проектировать высокоэффективные малогабаритные аппараты очистки.

4. Аппарат фракционированного коагулирования примесей в водных технологических средах

Время от образования электрогенерированного коагулянта до его укрупнения и коагулирования мало по сравнению со временем полной коагуляции частиц загрязнений. Поэтому не целесообразно удалять реакторную камеру на значительное расстояние от электродов. Для увеличения эффективности процесса коагуляции необходимо выполнение условия $C_k=f(C_3)$, где C_k - концентрация электрогенерированного коагулянта в единице объема потока жидкости выходящего из отсека с электродами, кг/м³; C_3 - концентрация загрязнений в единице потока очищаемой воды, кг/м³. При решении этой задачи в проточных электрофлотокоагуляторах необходимо варьировать расходом сточной воды, подаваемой на очистку и электролита, поступающего в реакторную камеру из отсека с электродами, или оставляя постоянными расходы изменять концентрацию электрогенерированного коагулянта, вырабатываемого в процессе электролиза в электродном отсеке. Необходимо при этом учитывать, что повышение концентрации коагулянта в потоке связано с увеличением затрат электроэнергии.

Существенным условием эффективности процесса является режим ввода коагулянта. На улучшение этого режима направлен процесс фракционирования реализация которого стала возможной благодаря применению перегородок, размещение в них средств перетока обрабатываемой воды в виде потоконаправляющих отверстий и щелевидного отверстия (перегородки с щелевидным отверстием) электродного отсека. Размеры перегородок соответствуют поперечным размерам реакторной камеры.

Основной расчетной величиной в перегородках являются отверстия. Влияние формы отверстия и напора на величину коэффициента расхода, не оказывает существенного влияния [2]. Учитывая то, что для тонкой перегородки коэффициент сжатия струи потока можно принять равным единице, также как и коэффициент Кориолиса (кинетической энергии) и приняв условно коэффициент сопротивления равным нулю, а также учесть то, что при этом коэффициент скорости будет равен единице, сечение потоконаправляющего отверстия (ω , м²) определяется по выражению [2]:

$$\omega = \frac{Q}{\sqrt{2 \cdot g \cdot H_C}} \quad (7)$$

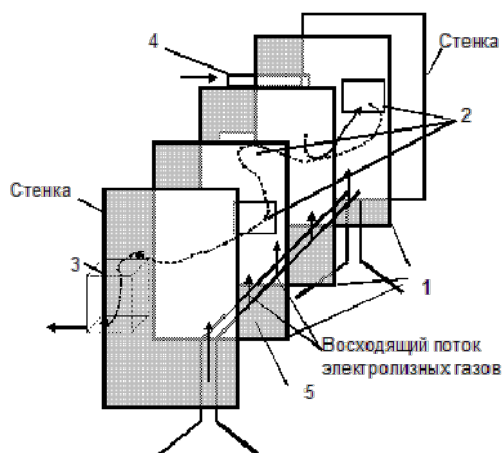
где Q - расход жидкости, $\text{м}^3/\text{ч}$; H_c - высота столба жидкости над отверстием, м ; g - ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$.

Одновременно с выполнением фракционирующих функций перегородки задерживают на поверхности жидкости пену, которая затем отводится в пеноотводящий желоб. Выполнение отверстий в перегородках позволяет изменить направление потока жидкости удлиняя при этом его путь и заставляя поток перемещающейся по реакторной камере жидкости несколько раз пересекать газо- коагуляционную "стенку", образованную выходящим из электродного отсека потоком электролита. Эта "стенка" выполняет функции отсекающего загрязнения устройства и задерживает скоагулировавшиеся комплексы. Число перегородок определяется производительностью устройства. Каждый раз, когда пересекается "стенка" очищаемым потоком, из него извлекается часть загрязнений (фракций). Каждый из отсеков формирует объем обрабатываемой воды за отрезок времени равный 0,5 часа, что соответствует времени быстрого коагулирования. Исходя из этого объем одного отсека W_1 :

$$W_1 = Q t, \quad (8)$$

где t - среднее время осаждения скоагулированных частиц, ч (в нашем случае оно равно 0,5 ч). Следовательно, при расходе (Q) равном $1 \text{ м}^3/\text{ч}$ объем одного отсека необходимо выполнять равным $0,5 \text{ м}^3$.

Рис.4 Схема перегородок в аппарате фракционированного коагулирования



1 - перегородки; 2 — потоко - направляющие отверстия; 3 - карман отвода очищенной воды; 4 - патрубок подачи воды на очистку; 5 - щелевидный канал.

Основными показателями процесса электро-коагуляции являются анодное растворение металлов, электролизные газы (H_2, O_2), электролизный ток, электрическое поле, вероятность контакта взаимодействующих частиц. Практически все разработчики подобных аппаратов сосредоточили основное внимание на максимальную реализацию первых двух показателей, а именно- анодное растворение металлических пластин (электродов) и получение максимального количества электролизных газов. Учитывая то, что эти процессы практически дополняют друг друга, условно можно их назвать одностадийными. В одностадийной схеме, реализуются свойства анодо-растворенного металла (АРМ) и электролизных газов (ЭГ). Результирующими показателями этих процессов являются электрокоагуляция (коагуляция) и электрофлотация (флотация) рис.5, поз. а. Развивая далее идею полной реализации сопутствующих процессу электролиза факторов, была предложена двухстадийная схема работы аппарата. В двухстадийной схеме более полно реализуются, кроме указанных в одностадийной схеме (АРМ) и (ЭГ), электролизный ток (ЭТ), электрическое поле (ЭП) и увеличивается вероятность контакта взаимодействующих части. Входная и выходная камеры (ВК) способ-

ствуют циркуляции потока жидкости в аппарате и одновременно являются успокоительными камерами рис.5, поз. б, в.

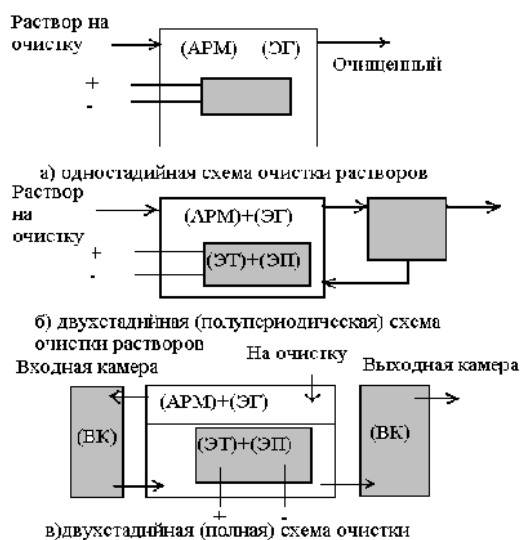


Рис. 5 Методология очистки водных сред в аппаратах фракционированного коагулирования

Следуя далее предложенному подходу можно предположить создание таких конструкций аппаратов, которые позволят реализовать выше указанные параметры, определяющие эффективность электрохимической очистки, что позволит повысить эффективность процесса и значительно уменьшить размеры очистных аппаратов [7,8].

Универсальность аппаратов фракционированного коагулирования есть еще одно из преимуществ, которого удастся достигнуть, применяя выше указанные схемы. Универсальность означает то, что эти аппараты могут удалять из всех известных водных технологических сред примеси совершенно разной дисперсности и свойств.

Вывод: в результате теоретического обобщения научных исследований и практических результатов, полученных экспериментальным путем и апробированных в промышленных условиях, разработана теория фракционированного коагулирования примесей различной дисперсности и свойств, с последующим их извлечением из водных технологических сред с помощью аппаратов электрокоагуляционной очистки, которая обеспечивает выполнение ресурсосберегающих технологий в условиях современного производства.

Список литературы: 1. Березуцкий В.В. Обеспечение безопасности при применении водных технологических эмульсий и растворов на производствах в металлообрабатывающих технологиях: [монография]/В.В.Березуцкий . – Харьков: Факт, 2009. – 400 с.; 2. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1971- 784 с.; 3. Богомолов А.И. Примеры гидравлических расчетов. – М.: Транспорт, 1977.- С.92-97.; 4. Березуцкий В.В. Технологическая безопасность маслоэмульсионных вод: Монография. – Харьков.:ХГПУ. – 1998. – 279 с.; 5. Березуцкий В.В. Екологічні аспекти застосування мастильно-охолодних рідин. – К.: ІЗМН, 1996. – 164 с.; 6. Березуцкий В.В. Управление качеством водных технологических растворов. Проблемы машиностроения – Т.6, №4, 2003 – С.95-100; 7.. Березуцкий В.В. Аппарат для электрохимической очистки сточных вод Пат. №1691319 Российской федерации. МКИ СО2 F 1/463, №4452193/26; Заявл. 04.07.88; Опубл.15.11.91 Бюл. №42; 8. Березуцкий В.В., Максименко О.А. Апарат електрохімічного очищення стічних вод. Патент на корисну модель №17651. Заявл. 07.03.2006 р. Надрук. 16.10.2006. Бюл. № 10.2006

Поступила в редколлегию 05.03.2010

УДК 612.014.45

Н.Б. ВОЛНЕНКО, докт. мед. наук, профессор ХНАДУ
О.І. БОГАТОВ, канд. техн. наук, доцент, ХНАДУ
В.М. ЛИТВИНЕНКО, ст. викладач ХНАДУ